

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-222037

(P2001-222037A)

(43)公開日 平成13年8月17日 (2001.8.17)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 F 1/365

識別記号

F I

G 0 2 F 1/365

マーク<sup>\*</sup>(参考)

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2000-34454(P2000-34454)

(22)出願日 平成12年2月14日 (2000.2.14)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 渡辺 茂樹

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100075384

弁理士 松本 昂

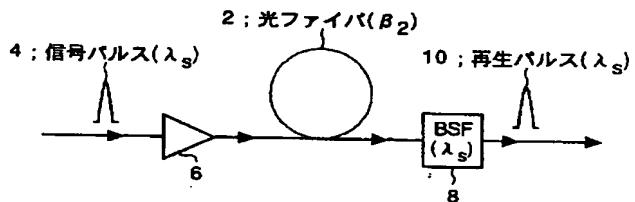
Fターム(参考) 2K002 AA02 AB33 AB40 BA02 CA15  
DA10 GA10 HA22 HA26

(54)【発明の名称】光信号を再生するための方法、装置及びシステム

(57)【要約】

【課題】 本発明は光信号を再生するための方法、装置及びシステムに関し、光信号のビットレートやパルス形状等に依存しない光信号の再生方法或いはWDM(波長分割多重)に適した光信号の再生方法を提供することが課題である。

【解決手段】 本発明によると、光信号を再生するための方法が提供される。この方法では、非線形効果を提供する光導波構造(例えば光ファイバ)に光信号が供給されると、非線形効果により光信号にチャーピングが生じる。そして、光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給することによってチャーピングの小さい成分が除去される。パルス上の光信号においてチャーピングの小さい成分が除去されると、特にパルスのトップ部分及び/又は低パワー部分の強度揺らぎや累積雑音を除去することができるので、光信号のビットレートやパルス形状等に依存せずに光信号を再生することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非線形効果を提供する光導波構造に光信号を入力するステップと、

上記非線形効果により上記光信号にチャーピングを生じさせるステップと、

上記光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給して上記チャーピングの小さい成分を除去するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバである方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光フィルタは上記光信号の中心波長に実質的に一致する中心波長を有する光バンドストップフィルタである方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の方法であって、  
上記出力光信号を光バンドパスフィルタに供給して上記光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャーピングよりも大きなチャーピング成分を除去するステップを更に備えた方法。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号を光フィルタに供給して上記光信号における信号帯域外の雑音成分を除去するステップを更に備えた方法。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号を所要のチャーピングが得られるように光増幅するステップを更に備えた方法。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記出力光信号が分散補償されるように上記出力光信号を分散補償器に供給するステップを更に備えた方法。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の方法であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、  
上記分散補償器は異常分散を提供する第 2 の光ファイバであり、  
上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルスピーク近傍の欠落が減少する程度までパルス圧縮が行われるように上記第 2 の光ファイバの分散値及び入力パワーを調節するステップを更に備えた方法。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の方法であって、  
上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルス幅が上記第 1 の光ファイバに入力された光信号のパルス幅に概ね一致するように上記出力された光信号を光バンドパスフィルタに供給するステップを更に備えた方法。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号をパルス圧縮するステップを更に備えた方法。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の方法であって、  
上記パルス圧縮するステップは正常分散を提供する第 1

の光ファイバ及び異常分散を提供する第 2 の光ファイバに上記光信号を通過させるステップを含む方法。

【請求項 12】 請求項 1 に記載の方法であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られた WDM 信号光である方法。

【請求項 13】 請求項 12 に記載の方法であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバであり、上記光ファイバは上記 WDM 信号光のクロストークが発生しない程度に大きな分散値を有している方法。

【請求項 14】 入力された光信号にチャーピングが生じるよう非線形光学効果を提供する光導波構造と、  
上記光導波構造から出力された出力光信号が供給され上記チャーピングの小さい成分を除去する光フィルタとを備えた装置。

【請求項 15】 請求項 14 に記載の装置であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバである装置。

【請求項 16】 請求項 14 に記載の装置であって、  
上記光フィルタは上記光信号の中心波長に実質的に一致する中心波長を有する光バンドストップフィルタである装置。

【請求項 17】 請求項 16 に記載の装置であって、  
上記出力光信号が供給され上記光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャーピングよりも大きなチャーピング成分を除去する光バンドパスフィルタを更に備えた装置。

【請求項 18】 請求項 14 に記載の装置であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号が供給され上記光信号における信号帯域外の雑音成分を除去する光フィルタを更に備えた装置。

【請求項 19】 請求項 14 に記載の装置であって、  
上記光導波構造構造に入力されるべき光信号を所要のチャーピングが得られるように光増幅する光増幅器を更に備えた装置。

【請求項 20】 請求項 15 に記載の装置であって、  
上記出力光信号が供給される分散補償器を更に備えた装置。

【請求項 21】 請求項 20 に記載の装置であって、  
上記光導波構造は正常分散を提供する第 1 の光ファイバであり、  
上記分散補償器は異常分散を提供する第 2 の光ファイバであり、  
上記第 2 の光ファイバから出力された光信号のパルス幅が上記第 1 の光ファイバに入力された光信号のパルス幅に概ね一致するように上記出力された光信号が供給される光バンドパスフィルタを更に備えた装置。

【請求項 22】 請求項 14 に記載の装置であって、  
上記光導波構造に入力されるべき光信号をパルス圧縮する手段を更に備えた装置。

【請求項 23】 請求項 22 に記載の装置であって、

上記パルス圧縮する手段は正常分散を提供する第1の光ファイバ及び異常分散を提供する第2の光ファイバを含む装置。

【請求項24】 請求項14に記載の装置であって、上記光導波構造に入力されるべき光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光である装置。

【請求項25】 請求項24に記載の装置であって、上記光導波構造は正常分散を提供する光ファイバであり、上記光ファイバは上記WDM信号光のクロストークが発生しない程度に大きな分散値を有している装置。

【請求項26】 光信号を伝送する光ファイバ伝送路と、

上記光ファイバ伝送路から出力された光信号が供給される光信号再生装置とを備えたシステムであって、上記光信号再生装置は、上記供給された光信号にチャーピングが生じるよう非線形光学効果を提供する光導波構造と、上記光導波構造から出力された出力光信号が供給され上記チャーピングの小さい成分を除去する光フィルタとを備えているシステム。

【請求項27】 請求項26に記載のシステムであつて、

上記出力光信号を伝送する第2の光ファイバ伝送路を更に備えたシステム。

【請求項28】 請求項27に記載のシステムであつて、

上記光ファイバ伝送路の入力端に接続された光送信機と、上記第2の光ファイバ伝送路の出力端に接続された光受信機とを更に備えたシステム。

【請求項29】 請求項26に記載のシステムであつて、

上記光ファイバ伝送路により伝送される光信号は複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光であるシステム。

【請求項30】 請求項27に記載のシステムであつて、

上記光ファイバ伝送路及び上記第2の光ファイバ伝送路の各々は、少なくとも1つの光増幅器を含む光増幅中継伝送路であるシステム。

【請求項31】 請求項1に記載の方法であつて、

上記光導波構造は正常分散を提供する第1の光ファイバであり、

上記光フィルタから出力された光信号を増幅してその増幅された光信号を正常分散を提供する第2の光ファイバに供給するステップを更に備えた方法。

【請求項32】 請求項14に記載の装置であつて、

上記光導波構造は正常分散を提供する第1の光ファイバであり、

上記光フィルタから出力された光信号を増幅する光増幅器と、

上記光増幅器により増幅された光信号が供給される第2

の光ファイバとを更に備え、

上記第2の光ファイバは正常分散を提供する装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光信号の再生のための方法、装置及びシステムに関する。

【0002】 近年実用化されている光ファイバ通信システムにおいては、伝送路損失や分岐損失等による信号パワーの低下を、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)等の光増幅器を用いて補償している。光増幅器はアナログ増幅器であり、信号を線形増幅するものである。この種の光増幅器においては、増幅に伴って発生する自然放出光(ASE)雑音の付加により信号対雑音比(S/N比)が低下するので、中継数ひいては伝送距離に限界が生じる。また、光ファイバの持つ波長分散やファイバ内の非線形光学効果による波形劣化も伝送限界を与える要因である。こうした限界を打破するためには、信号をデジタル的に処理する再生中継器が必要であり、その実現が望まれている。特に、全ての処理を光レベルにおいて行う全光再生中継器は、信号のビットレートやパルス形状等に依存しないトランスペアレントな動作を実現する上で重要である。

【0003】 全光再生中継器に必要な機能は、振幅再生又はリアンプリフィケーション(Re amplification)と、タイミング再生又はリタイミング(Retiming)と、波形整形又はリシェイピング(Reshaping)とである。本発明は、これらのうち特にリアンプリフィケーション及びリシェイピングの機能に着目して、光ファイバ等の光導波構造内を光パルスが伝搬する際に受ける自己位相変調(SPM)効果によるチャーピングを用いて、光通信システムにおける全光再生中継器や光ネットワークの各種ノードポイントにおける信号再生器等を提供するものである。

##### 【0004】

【従来の技術】 波形整形器或いは光再生器として最も一般的なものは、入力光信号をフォトダイオード等の受光器により一旦電気信号に変換し、この電気信号をロジック回路を用いて電気的に波形整形処理した後、この信号でレーザ光を変調するようにしたOEタイプの波形整形器である。OEタイプの波形整形器は従来の光通信システムにおいて再生中継器に用いられている。しかし、OEタイプの波形整形器の動作速度は信号処理のための電子回路によって制限されるので、再生中継器の入力信号のビットレートが低いレートで固定されてしまうという問題がある。

【0005】 一方、全て光レベルで処理する全光タイプの波形整形器としては、波長変換を伴う非線形ループミラー(NOLM)やマイケルソン型或いはマッハツエンダ型の干渉系構成の非線形スイッチ、更には過飽和吸収体によるスイッチ等が多数提案されている(例えば特願

平11-133576号、特願平11-239854号、特願平11-293189号参照)。

【0006】しかし、上述した従来の技術による場合、一度に1チャネルの信号しか処理することができないという問題がある。即ち、再生すべき光信号が、波長が異なる複数の光信号を波長多重して得られたWDM信号光である場合、光信号を再生するための方法を複数回実施しあるいは光信号を再生するための装置を複数台使用する必要があり、方法の実施が煩雑でありあるいは装置構成が大規模になる。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】よって、本発明の目的は、光信号のビットレートやパルス形状等に依存しない新規な光信号の再生のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0008】本発明の他の目的は、WDM(波長分割多重)に適した光信号の再生のための方法、装置及びシステムを提供することである。

【0009】本発明の更に他の目的は以下の説明から明らかになる。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、光信号を再生するための方法が提供される。この方法では、非線形効果を提供する光導波構造に光信号が供給されると、非線形効果により光信号にチャーピングが生じる。そして、光導波構造から出力された出力光信号を光フィルタに供給することによって、チャーピングの小さい成分が除去される。

【0011】パルス状の光信号においてチャーピングの小さい成分が除去されると、特にパルスのトップ部分及び／又は低パワー部分の強度揺らぎや累積雜音を除去することができるので、光信号のビットレートやパルス形状などに依存せずに光信号を再生することができる。

【0012】また、チャーピングの小さい成分を除去するための光フィルタとしてインターリープフィルタやAO-TF(音響光学チューナブルフィルタ)等のように複数の帯域を有する光フィルタを用いることができるので、波長が異なる複数の光信号を波長分割多重して得ら

$$\phi_{NL}(z, T) = |U(0, T)|^2 \frac{z}{L_{NL}}$$

【0020】ここに、 $z_{eff} = [1 - exp(-\alpha z)]$   
／ $\alpha$ は有効(非線形)相互作用長である。

【0021】このとき、チャーピング $\delta\omega_{NL}$ は以下で与えら

$$\delta\omega_{NL} = -\frac{\partial\phi_{NL}}{\partial T} = -\frac{\partial|U(0, T)|^2}{\partial T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}}$$

【0023】 $|U(0, T)|^2$ はピークパワーに相当するから、(2)式によれば、光パルスの各部分におけるチャーピングは、パワー傾斜がきつい部分ほど大きくなる。また、伝搬距離 $z$ が長くなり非線形長 $L_{NL}$ が短くなる( $\tau P_0$ が大きくなる)とともに大きくなる。こう

れたWDM信号光に関して複数の光信号を一括して再生することができる。

【0013】本発明の第2の側面によると、光信号を再生するための装置が提供される。この装置は、入力された光信号にチャーピングが生じるように非線形効果を提供する光導波構造と、光導波構造から出力された出力光信号が供給される光フィルタとを備えている。光フィルタは出力光信号におけるチャーピングの小さい成分を除去する。

【0014】本発明において、光導波構造としては、正常分散を提供する光ファイバを用いることができ、これにより効果的に光信号にチャーピングを生じさせることができる。

【0015】本発明では、効果的に光信号にチャーピングを生じさせるために、光導波構造に入力されるべき光信号をEDFA(エルビウムドープファイバ増幅器)等の光増幅器により増幅してもよい。

【0016】本発明の第3の側面によると、光信号を再生するためのシステムが提供される。このシステムは、光信号を伝送する光ファイバ伝送路と、光ファイバ伝送路から出力された光信号が供給される光信号再生装置とを備えている。光信号再生装置は、本発明の第2の側面に従って提供され得る。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。

【0018】いま、幅 $T_0$ 、ピークパワー $P_0$ の光パルス $U(z, T)$ が光ファイバ中を伝搬する場合を考える。ここに、 $T$ は光パルスとともに動く座標系での時間である。この光ファイバの波長分散 $\beta_2$ があまり大きくなく、分散長 $L_D = T_0^2 / |\beta_2|$ が光パルスに対する非線形長 $L_{NL} = 1 / \tau P_0$ ( $\tau$ は3次非線形定数)に比べて十分長い( $L_D \gg L_{NL}$ )場合には、SPM(自己位相変調)による位相シフト $\phi_{NL}(z, L)$ は以下のように表せる。

#### 【0019】

【数1】

(1)

れる。

#### 【0022】

【数2】

(2)

して、SPMによるチャーピングは新しい周波数成分を光パルスに与え、結果としてスペクトルを拡大する。

【0024】一例として、m次のスーパーガウシアン(Super-Gaussian)型の光パルス

【0025】

【数3】

$$U(0, T) = \exp\left(-\frac{T^{2m}}{2T_0^{2m}}\right) \quad (3)$$

【0026】を光ファイバに入力する場合を考えると、  
(2) 式より、

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2m z_{eff}}{T L_{NL}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m}\right] \quad (4)$$

【0028】である。特に、通常のガウシアン (Gaussian) パルス ( $m=1$ ) については、

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2 z_{eff}}{T L_{NL} T_0} \exp\left(-\frac{T^2}{T_0^2}\right) \quad (5)$$

【0030】である。(3) - (5) 式の様子を図1の(A) 及び(B) に示す。図1の(A) 及び(B)において、実線はガウシアンパルス ( $m=1$ ) の場合を示しており、破線は  $m=3$  のときのスーパーガウシアンパルスの場合を示している。パルスのスロープに沿ってチャーブが発生し、先頭部分では、 $\delta\omega < 0$ 、後尾部分では $\delta\omega > 0$ となる(アップチャーブ)。また、ガウシアンパルスにおいては、パルスのピーク付近ではほぼ線形なチャーブとなっている。

【0031】図1の(A) 及び(B) は、光パルスに SPM によるチャーブを与えることによって、パルスの時間成分をスペクトル上で分解できることを示している。特に重要なのは、チャーブの大きなスロープ中央付近とチャーブの小さなピーク付近及び裾部分とを区別できる点である。このことを用いて、例えばピーク及び裾付近の微小なパワー変動や累積した雑音を光フィルタを用いて除去することができる。

【0032】即ち、まず光パルスを光ファイバ中を伝搬させ、強制的に SPM を発生させ、チャーブの大きな部分と小さな部分に周波数的に分離した後、チャーブの小さな( $\delta\omega \sim 0$ )付近のスペクトル成分を光バンドストップフィルタ (BSP) を用いて集中的に除去する。その後、逆符号のチャーブを与えてチャーブ補償し、雑音が除去されたパルスの波形をもとに戻すことができる。

【0033】逆チャーブを与えるための方法としては、光ファイバの波長分散 (GVD) を用いる方法等がある。この方法では、GVD が  $\beta_2$  であるファイバ中を伝搬する光パルスは、 $\beta_2 > 0$  即ち正常分散ファイバ中であれば SPM の場合と同様アップチャーブを得ることができ、 $\beta_2 < 0$  即ち異常分散ファイバ中であればダウチャーブを得ることができる。このように、異常分散ファイバ中を伝搬されることにより、SPM によるチャーブを補償可能である。

【0034】SPM によるチャーブを効果的に発生させるためにには、ファイバの  $\gamma$  値を大きくする必要がある。一般に、光ファイバの  $\gamma$  は、

【0035】

【0027】

【数4】

【0029】

【数5】

【数6】

$$\gamma = \frac{\alpha n_2}{c A_{eff}} \quad (6)$$

【0036】で表される。ここに、 $\omega$  は光角周波数、 $c$  は真空中の光速を表し、 $n_2$  と  $A_{eff}$  はファイバの非線形屈折率と有効コア断面積をそれぞれ表す。従来の D S F (分散シフトファイバ) の非線形係数は  $\gamma = 2 \cdot 6 W^{-1} km^{-1}$  程度と小さいので、十分なチャーブを得るためにには数 km ~ 10 km 以上の長さが必要であった。より短尺で十分大きなチャーブを発生するためには、(12) 式において  $n_2$  を大きくするかモード・フィールド径 (MFD)、従って  $A_{eff}$  を小さくして光強度を高くするのが有効である。 $n_2$  を大きくする手段としては、クラッドにフッ素等を添加し、コアに Ge C<sub>2</sub> 等をかなり高濃度に添加するなどの方法がある。Ge C<sub>2</sub> の添加濃度が 2.5 ~ 3.0 mol % の場合で  $5 \times 10^{-20} m^2/W$  以上の大さな  $n_2$  値が得られている(通常のシリカファイバでは  $n_2 \sim 3 \cdot 2 \times 10^{-20} m^2/W$ )。一方、MFD を小さくすることは、コアとクラッドの比屈折率差やコア形状の設計により可能である。上記 Ge C<sub>2</sub> 添加ファイバにおいて比屈折率差  $\Delta$  が 2.5 ~ 3 % 程度の場合に、MFD ~ 4 μm 程度のものが得られている。これらの効果の総合効果として  $1.5 W^{-1} km^{-1}$  以上の大さな  $\gamma$  値のファイバが得られている。

【0037】また、分散長を非線形長に比べて十分長くしたり、チャーブ補償をするためには、こうしたファイバの GVD を任意に調整可能であることが望まれる。この点に関しては上記パラメータを以下のように設定することにより可能である。まず、通常のDCFにおいて、一般に MFD を一定にした条件下で  $\Delta$  を大きくすると分散値は正常分散領域で大きくなる。一方、コア径を大きくすると分散は減少し、逆にコア径を小さくすると分散は大きくなる。従って、与えられた波長帯において MFD をある値に設定した状態で、コア径を大きくしていくと分散を零とすることが可能となる。逆に所望の正常分散ファイバを得ることも可能である。

【0038】このような方法により、 $\gamma = 1.5 W^{-1} km$

$\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ 以上の高非線形分散シフトファイバ (HNL-DSF) やDCF (分散補償ファイバ) が実現している。例えば、 $\gamma = 15 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ のファイバは通常のDSFに比べて $2.6 / 1.5 \sim 1 / 5.7$ 程度の長さで同じ効率を達成可能である。上記のように通常のDSFでは $10 \text{ km}$ 程度の長さが必要であるが、このようなファイバでは $1 \sim 2 \text{ km}$ 程度の長さで同様の効果が達成できる。実際には、短くなる分損失が少なくなるから更に短い長さでよい。

【0039】図2は本発明による光信号の再生装置の第1実施形態を示すブロック図である。非線形光学効果を提供する光導波構造として、光ファイバ2が用いられている。光ファイバ2のGVDは $\beta_2$ であり、光ファイバ2は例えれば供給された光信号に正常分散及び3次の非線形光学効果を与える。

【0040】中心波長 $\lambda_S$ を有する光信号としての信号パルス4は、光増幅器6により所用のチャーピングを発生させるのに十分な程度のパワーまで増幅された後、光ファイバ2に入力される。光ファイバ2内においては、SPMによりチャーピングが発生する。チャーピングが与えられて光ファイバ2から出力された出力光信号は、阻止帯域の中心波長が $\lambda_S$ のバンドストップフィルタ(BSF)8を通過してチャーピングの小さい成分が除去された後、中心周波数が $\lambda_S$ の再生パルス10が出力される。

【0041】チャーピングの小さな成分には、主にオフパワー(0符号)成分の零点からの変動分(例えばGVDによる波形劣化)やパルスのピーク付近のスロープの小さな成分が含まれる。これらの成分は光信号対雑音比(OSNR)を決定付けるものであるので、この部分をBSFにより除去することにより、これらの成分のパワー変動、消光比劣化、雑音累積等によるOSNRの低下を改善することができる。

【0042】本発明による光信号の再生の大きな特徴は、波長変換を伴わないことである。これにより、従来にない実用的な2R(リアンプリフィケーション及びリシェイピング)再生が実現可能である。

【0043】ここで、本発明の実施可能性を評価するために、チャープの程度を見積っておく。例えば $T_0 = 10 \text{ ps}$ のパルスが $\beta_2 = 10 \text{ ps}^2/\text{km}$ 、 $\gamma = 20 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ の正常分散ファイバを伝搬する場合を考える。 $P_0 = 100 \text{ mW}$ 程度で入力するとすると、 $L_D = 10 \text{ km}$ 、 $L_{NL} = 0.5 \text{ km}$ であるから、 $L_D \gg L_{NL}$ が成立つ。従って、ここではチャープに対する分散の影響は無視する。

【0044】このときチャープ $\delta\omega$ は、 $L = 1 \text{ km}$ のとき $1.62 \text{ GHz}$ ( $0.21 \text{ nm}$ )である。同様の条件で $P_0 = 200 \text{ mW}$ とすれば、 $3.24 \text{ GHz}$ ( $0.43 \text{ nm}$ )となる。一方、 $T_0 = 5 \text{ ps}$ のパルスを用いるとすれば、 $L = 0.5 \text{ km}$ 、 $P_0 = 200 \text{ mW}$ に対して $3.3$

$3 \text{ GHz}$ ( $0.43 \text{ nm}$ )となる。 $5 \sim 10 \text{ ps}$ の短パルスに対しては、例えば $40 \text{ Gb/s}$ 程度の信号であっても、 $200 \text{ mW}$ 程度のピークパワーは比較的容易に実現可能であり、帯域 $0.2 \text{ nm}$ 程度のBSFも実現可能であるから、上記見積もりを考慮しても本発明は実施可能である。

【0045】図3は本発明による光信号の再生装置の第2実施形態を示すブロック図である。この実施形態では、光ファイバ2から出力された出力光信号がバンドストップフィルタ8だけでなくバンドパスフィルタ(BPF)12をも通過するようにされている。バンドパスフィルタ12の通過帯域の中心波長は $\lambda_S$ に設定されている。図示された例では、光信号の伝搬方向に向かってバンドストップフィルタ8及びバンドパスフィルタ12がこの順に設けられているが、これらは逆の順序で設けられてもよい。

【0046】次に、図4を用いて、図3に示されるバンドストップフィルタ8及びバンドパスフィルタ12の役割について説明する。

【0047】図4は本発明による再生前の信号パルス内の強度揺らぎを示しており、その横軸は時間(T)である。このパルスの各部分のSPMによるチャーピングを考えると、まず、 $a$ 及び $a'$ の部分は光増幅器の自然放出光(ASE)雑音或いはファイバ伝送による波形歪等に由来するものである。 $a$ 及び $a'$ で示される部分は本来零レベルにあるべきであり、従って強度が低い。従って、 $a$ 及び $a'$ で示される部分は、チャーピングも小さく光バンドストップフィルタ8により除去可能である。

【0048】次に、 $b$ 及び $b'$ で示されるように、パルスのピーク付近及びスロープ上の揺らぎは主に信号パルスと光増幅器のASEとのビート雑音、光ファイバ伝送による波形歪み等によるものであり、信号の帯域と同等或いは若干広い帯域を持つものであるから、傾斜はパルス自体の傾斜と同等か或いは若干きつい程度である。この場合の強度の変動の山と谷の部分では、傾斜が零となるため、その付近のチャープは小さく、光バンドストップフィルタ8により除去される。

【0049】但し、 $c$ 及び $c'$ で示されるように、極端にピーク的な変動成分も存在するであろう。このような特異点では、チャープがパルス自体のスロープにおけるものよりも大きく、スペクトルはメインスロープのそれよりも外側に位置する。従って、こうした特異点の部分の変動は、光バンドパスフィルタ12の帯域を、メインスロープ部のスペクトル成分を含む広さを持ち且つ特異点の部分の成分までは含まないような適当な帯域に設定することにより、除去することができる。

【0050】このように、本発明の実施形態では、光ファイバ2から出力された出力光信号を光バンドパスフィルタ12に供給して、光信号のパルスのメインスロープ部におけるチャーピングよりも大きなチャーピング成分

を除去することによって、光バンドストップフィルタ8のみを用いた場合に比べてより高精度な光信号の再生が可能になる。

【0051】図5は図3に示される光バンドストップフィルタ8及び光バンドパスフィルタ12によって与えられる透過帯域を説明するための図である。ここでは、中心波長 $\lambda_S$ の信号スペクトルに対して波長 $\lambda_S$ に関して対象な2つの透過帯域が与えられている。2つの透過帯域の間の阻止帯域は光バンドストップフィルタ8によって与えられ、2つの透過帯域の外側の阻止帯域は光バンドパスフィルタ12によって与えられる。従って、光バンドストップフィルタ8による阻止帯域のほうが光バンドパスフィルタ12の通過帯域よりも狭い。2つの透過帯域の間の阻止帯域によって図4にa, a', b及びb'で示される雑音成分を除去することができ、2つの透過帯域の外側の阻止帯域によってc及びc'で示される雑音成分を除去することができる。

【0052】光バンドストップフィルタ8としては、例えば狭帯域のファイバグレーティングを用いることができる。また、光バンドパスフィルタ12としては、ファイバグレーティングによる反射を用いたり或いはダブルキャビティ型の多層膜フィルタ等の高次フィルタを用いることができる。

【0053】ところで、図5においては、中心付近の強度が最も大きな形でスペクトルが表示されているが、分散やパルスのパワーを適当に設定すると、スペクトルの形状をフラットにすることが可能である。正常分散( $\beta_2 > 0$ )に設定した場合などがそうであるし、(この場合パルスは矩形上に広がりつつチャープしていく)、極端な場合には、スーパーコンティニューム(Super continuum)と称される超広帯域の白色スペクトルになる(この場合にはSPMだけでなく四光波混合等の寄与が大きい)。こうしたフラットなチャープスペクトルに本発明を適用すれば、入力ピークパワーに依存しない一定の出力が得られるので、ピーク付近の揺らぎを効果的に抑圧することができる。

【0054】図6は本発明による光信号の再生装置の第3実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図2に示される実施形態と対比して、光増幅器6と光ファイバ2との間に光フィルタ14が付加的に設けられている点で特徴付けられる。光フィルタ14は、光ファイバ2に入力されるべき光信号を供給されて、その光信号における信号帯域外の雑音成分を除去する。例えば、光フィルタ14として、通過帯域の中心波長が $\lambda_S$ の光バンドパスフィルタを用いることによって、入力信号帯域外に累積しているASE雑音を予め除去しておくことができる。光フィルタ14として、 $\lambda_S$ と異なる阻止帯域の中心波長を有する光バンドストップフィルタを用いることもできる。例えば、アップチャープ及びダウンチャープした信号にそれぞれ作用する2つの光バンドストップ

フィルタを用意しておき、これらをタンデムにつなげることによって、光フィルタ14としての光バンドストップフィルタを得ることができる。光フィルタ14としてはファイバグレーティングを用いることができる。

【0055】このように、光信号における信号帯域外の雑音成分を光フィルタ14により予め除去しておくことによって、高いOSNRを得ることができるので、より効果的に光信号の再生を行うことができる。

【0056】図7は本発明による光信号の再生装置の第4実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図2に示される実施形態と対比して、光ファイバ2と逆符号の分散を提供するもう1つの光ファイバ16が光バンドストップフィルタ8の出力に接続されている点で特徴付けられる。光ファイバ2は正常分散( $\beta_2 > 0$ )を提供するので、光ファイバ2内のSPMによってアップチャープが発生し、光ファイバ2から出力され光バンドストップフィルタ8を通過した出力光信号は、符号10'で示されるように、ピーク付近に穴(強度的部分的な低下)を有していることがある。そこで、この出力光信号を異常分散( $\beta_2 < 0$ )を提供する光ファイバ16に供給することによって、光ファイバ2内におけるSPMによるアップチャープを補償する。その際、光ファイバ16における分散値及び入力パワーを適切に設定することによりパルス圧縮効果が起こるので、光バンドストップフィルタ8によるスペクトル上及びパルスのピーク付近の穴又は欠落を補正可能であるとともに、チャープの低減化により、符号18で示される再生パルスのその後の伝送における波形劣化も低減可能である。尚、このチャープの低減化は、DCF、ファイバグレーティング等の光フィルタ、位相変調器等の他の手段を用いて行うこともできる。

【0057】このように、本実施形態では、分散補償器としての光ファイバ16を用いて光ファイバ2の出力光信号を分散補償しているので、波形劣化を低減することができ、より高精度な光信号の再生が可能になる。

【0058】図8は本発明による光信号の再生装置の第5実施形態を示すブロック図である。この実施形態は図7に示される実施形態と対比して、光増幅器6の入力にパルス圧縮器20が付加的に設けられている点で特徴付けられる。また、図3に示される実施形態におけるのと同様に、光バンドストップフィルタ8の出力に光バンドパスフィルタ12が接続されており、分散補償及び若干のチャーピングの補償のための光ファイバ16は光バンドパスフィルタ12の出力に接続されている。

【0059】パルス圧縮器20は、正常分散( $\beta_2 > 0$ )を提供する光ファイバ22と異常分散( $\beta_2 < 0$ )を提供する光ファイバ24とを直列に接続することによって得られる。この場合、光ファイバ22におけるアップチャープと光ファイバ24によるダウンチャープとの組み合わせにより、入力された信号パルス4は符号4'

で示されるようにパルス圧縮される。光ファイバ22及び24において所用のチャーピングを得るために、パルス圧縮器20の入力には光増幅器6'が設けられている。

【0060】この構成によると、光ファイバ2に入力されるべき光信号は符号4'で示されるようにパルス圧縮されているので、雑音成分の効果的な除去が可能になり、高精度な光信号の再生が可能になる。

【0061】図9は本発明による光信号の再生装置の第6実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図8に示される実施形態と対比して、光ファイバ16の出力に比較的狭い通過帯域の中心波長が $\lambda_S$ である光バンドパスフィルタ26が付加的に接続されている点で特徴付けられる。この構成によると、再生パルスが光バンドパスフィルタ26を通過することによって、符号18'で示されるように、圧縮されていたパルス幅を元の幅に戻すことができる。

【0062】以上説明した実施形態では、光再生装置を光ファイバ、光フィルタ及び光増幅器から構成しているので、光2R再生を行うに際して、偏光依存性がなく、損失が小さく、しかも多波長一括再生が可能である、という顕著な効果が得られる。多波長一括再生が可能になることをより特定的に説明する。

【0063】図10は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、異なる波長( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ )を有する複数の光信号を波長分割多重して得られたWDM信号光を出力する送信機28と、送信機28から出力されたWDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路30と、光ファイバ伝送路30から出力されたWDM信号光が供給される再生装置32と、再生装置32から出力された出力光信号としてのWDM信号光を伝送する光ファイバ伝送路34と、光ファイバ伝送路34から出力されたWDM信号光を受ける受信機36とを備えている。受信機36は受けたWDM信号光に基づき元の複数の光信号を復調する。

【0064】再生装置32における光導波構造が光ファイバである場合、その分散は、WDM信号光のクロストークが生じない程度に大きいことが望ましい。

【0065】再生装置32は本発明に従って以上の種々の実施形態に順じて構成することができる。本発明に従う再生装置32をWDM信号光に適合させる場合、

(a) 帯域の確保及び(b) 光フィルタの設計が重要である。これを順を追って説明する。

【0066】(a) 帯域の確保

WDM信号光の一括再生を可能にするためには、再生装置32がWDM信号光の帯域に見合った帯域を持っていなければならない。例えば、図8の実施形態について、光ファイバ2、16、22及び24並びに光増幅器6及び6'は全てWDM信号光の帯域よりも広い帯域を持っていることが望まれる。以下、具体的に説明する。

【0067】光ファイバ2は、WDM信号光の各チャネル(Ch. 1, Ch. 2, …, Ch. N)のSPMを均等に与えるだけの帯域を持っていることが望ましい。ファイバ内の3次非線形効果の応答時間はフェムト秒オーダであるから、十分広い帯域が確保されているといえる。但し、チャネルごとに分散の値が異なるとパルスの形状に差が出ることがあるので、光ファイバ2としては、適当な値の正常分散を提供する分散フラットファイバ(DFF)或いは分散傾斜が小さいファイバであることが望ましい。

【0068】光ファイバ16に関しては、各チャネルの分散補償を均等に行うだけの帯域を持っていることが望ましい。この場合の分散補償は異常分散を用いて行うから、分散傾斜が零のDFFであることが望ましく、そのフラット領域をWDM信号光の帯域よりも広く確保していくことが望ましい。但し、光ファイバ2がDFFでない場合には、光ファイバ16としては、光ファイバ2と逆符号の傾斜を持つ適当な値の異常分散ファイバを用いることができる。

【0069】パルス圧縮器20の前段の光ファイバ22は、パルス圧縮のための大きなアップチャープを与える必要がある。従って、光ファイバ22に要求される特性は基本的には光ファイバ2に要求される特性と同じであり、やはり適当な値の正常分散のDFF或いは分散傾斜が小さいファイバであることが望ましい。

【0070】パルス圧縮器20の後段の光ファイバ24に要求される特性は、基本的には光ファイバ16に要求される特性と同様である。

【0071】光増幅器6及び6'については、WDM信号光の帯域内の各光信号を概ね同じ利得で増幅するだけのフラットな帯域を持っていることが望ましい。

【0072】(b) 光フィルタの設計

一括してチャーピングを与えたWDM信号光を一括してフィルタリングするためには、例えば図11に示されるような特性を有する特殊なフィルタを採用することが望ましい。基本的には、図5に示される一対の透過帯域をWDM信号光の各チャネルの波長に合わせて用意すればよい。光バンドストップフィルタについては、例えば各波長に帯域の中心を持つファイバグレーティングをタンデムにつないでWDM信号光を透過させればよい。また、光バンドパスフィルタについては、既に実用化されているインターリーバフィルタ等を用いる方法が提案され得る。更に、必要に応じて、再生装置32にWDM信号光を入力する前に、インターリーバフィルタ等を透過させて、信号帯域外のASE雑音を除去しておけば、各チャネルに関して高精度な光信号の再生が可能になる。このインターリーバフィルタ等の設置位置は再生装置32における光ファイバ2の直前であってもよい。

【0073】WDM信号光の各チャネルの変調方式としては、光振幅(強度)変調方式等を適用可能であり、こ

の場合、信号検出するためには、受信機36で受けたWDM信号光を帯域フィルタで各チャネルの光信号に分離した後に光直接検波等を行えばよい。

【0074】光ファイバ伝送路30及び34の各々としては、單一モードのシリカファイバ(SMF)を用いることができ、その例としては、1.3μm零分散ファイバや1.55μm分散シフトファイバ(DSF)がある。

【0075】光ファイバ伝送路30及び34の各々は、少なくとも1つの光増幅器を含む光増幅中継伝送路であり得る。この場合、光信号の減衰を光増幅器により補償することができるので、長距離伝送が可能になる。

【0076】本発明を実施するに際しては、効果的にチャーピングを発生させるために、光ファイバ伝送路30及び34の各々のGVDや非線形効果による波形歪を予め補償しておくことが望ましい。そのために、光ファイバ伝送路30及び34の各々の途中に分散補償器或いは光位相共役器を設けることができる。また、光ソリトン伝送を行う場合に本発明を適用することもできる。

【0077】本発明によると、ASE雑音の抑圧が可能であるので、本発明による光信号の再生装置を中継器として用いる場合には伝送路途中でのOSNRの改善が可能になり、また、本発明による光信号の再生装置を受信機として用いる場合には、受信感度の改善が可能になる。

【0078】最後に、チャープ補償方法について説明する。これまで述べてきた方法による再生パルスにはチャープが残っている。再生装置の用途として最も期待されるのは伝送路中の光中継器においてあるから、その後の伝送特性に影響を与えないためにチャープを補償しておくことが望ましい。チャープを補償するには、第1に光位相共役(OPC)を用いればよい。再生パルスにOPCを施すことでチャープを反転可能だから、更に同じ手順で本発明に従って光信号の再生を行って同様のチャープを発生させることにより、チャープ補償が可能である。

【0079】尚、OPCには波長シフトを伴わないタイプが望まれるが、光信号の再生に波長変換を伴ってもよい場合には、波長シフトを伴うOPCを用いることもできる。

【0080】第2の方法は、パルスの立上がり部分と立下り部分とでチャープの符号が反対になることを用いて補償する方法である。図12を参照して、これをより特定期に説明する。

【0081】図12は本発明による光信号の再生装置の第7実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図7に示される実施形態と対比して、光バンドストップフィルタ8と分散補償器としての異常分散を提供する光ファイバ16との間に正常分散を提供する光ファイバ40が付加的に設けられている点で特徴付けられる。

光バンドストップフィルタ8からの出力光信号のパルス波形が符号10'で示されるように前後2つに分離するように光ファイバ2によるチャープ及び光バンドストップフィルタ8の帯域が調整され、この出力光信号は、十分なパワーを持って光ファイバ40に供給される。このとき、2つに分離したパルスの先頭部分のパルスの立下り部分(中心付近)は正チャープを受け、後半部分のパルスの立上がり部分は負チャープを受ける。一方、パルスの先頭部分は光ファイバ2内で負チャープを受けた部分であり、後半部分は正チャープを受けた部分である。従って、光ファイバ40による2回目のチャーピングにより中心部分のチャープを補償すると共に、符号42で示されるように、パルスの窪みも補償することができる。こうして得たパルスを図7に示される実施形態におけるのと同様にして分散補償器としての光ファイバ16に供給することによって、光信号を正確に再生することができる。

【0082】更に、光ファイバ2によりチャープしたパルスのうち、立下り部分の正チャープ(又は立上がり部分の負チャープ)した成分のみをフィルタリングして(その際各々の部分の中心波長は入力信号パルスの中心波長からシフトしている)、次に、本発明に従って、立上がり部分の負チャープ(または立ち上がり部分の正チャープ)で上記正(負)チャープを補償することができる。その際、光ファイバ40による2回目のチャーピングにおいては、入力信号パルスの中心波長に一致する中心波長を有する信号抽出用の光フィルタを用いることができる。

【0083】以上説明した本発明の実施形態では、非線形効果を提供する光導波構造として光ファイバを例示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、導波路基板上に形成された光導波路や半導体チップとして提供される半導体光増幅器(SOA)も非線形光学効果を提供し得るので、このような光ファイバ以外の光導波構造にも本発明を適用可能である。

#### 【0084】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、光信号のピットレートやパルス形状等に依存しない新規な光信号の再生のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。また、本発明によると、WDM(波長分割多重)に適した光信号の再生のための方法、装置及びシステムの提供が可能になるという効果もある。本発明の特定の実施形態により得られる効果は、以上説明した通りであるので、その説明を省略する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1の(A)及び図1の(B)はガウシアンパルス及びスーパーガウシアンパルスが光ファイバ中を伝搬する際のチャーピングを説明するための図である。

【図2】図2は本発明による光信号の再生装置の第1実

施形態を示すブロック図である。

【図3】図3は本発明による光信号の再生装置の第2実施形態を示すブロック図である。

【図4】図4は本発明に従って除去されるパルス内の強度揺らぎを説明するための図である。

【図5】図5は本発明の実施形態における光フィルタによる雑音の除去の様子を示す図である。

【図6】図6は本発明による光信号の再生装置の第3実施形態を示すブロック図である。

【図7】図7は本発明による光信号の再生装置の第4実施形態を示すブロック図である。

【図8】図8は本発明による光信号の再生装置の第5実施形態を示すブロック図である。

【図9】図9は本発明による光信号の再生装置の第6実施形態を示すブロック図である。

【図10】図10は本発明によるシステムの実施形態を

示すブロック図である。

【図11】図11はWDM信号光に適した光フィルタの透過帯域を説明するための図である。

【図12】図12は本発明による光信号の再生装置の第7実施形態を示すブロック図である。

#### 【符号の説明】

2, 16, 22, 24 光ファイバ

4 信号パルス

6, 6' 光増幅器

8 光バンドストップフィルタ

12, 26 光バンドパスフィルタ

20 パルス圧縮器

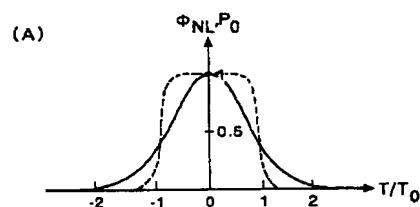
28 送信機

30, 34 光ファイバ伝送路

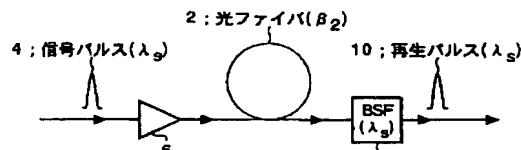
32 再生装置

36 受信機

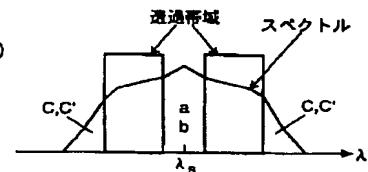
【図1】



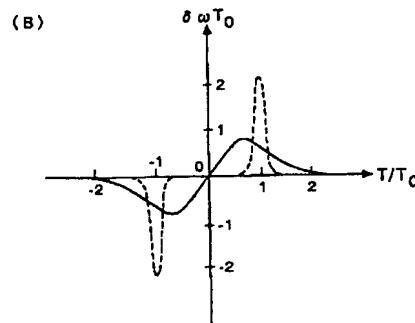
【図2】



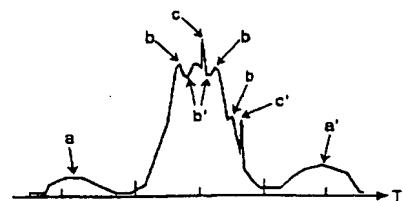
【図5】



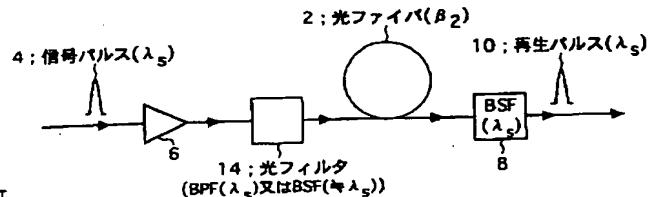
【図3】



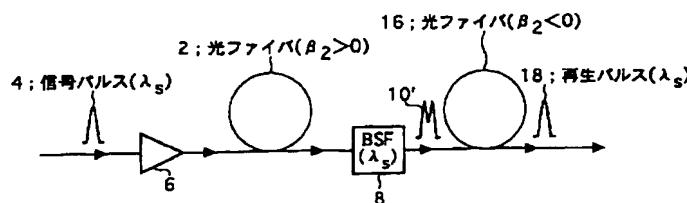
【図4】



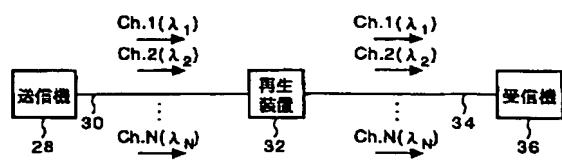
【図6】



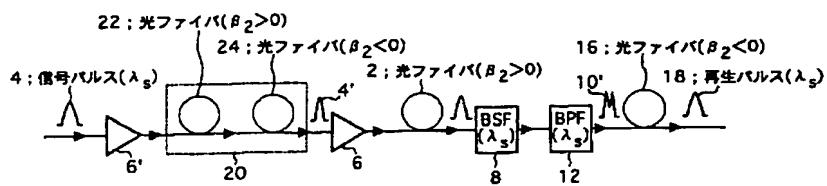
【図7】



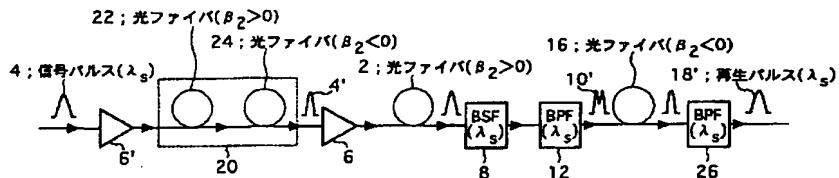
【図10】



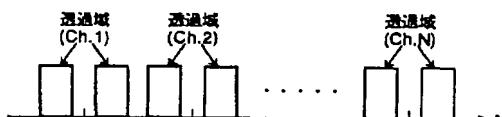
【図8】



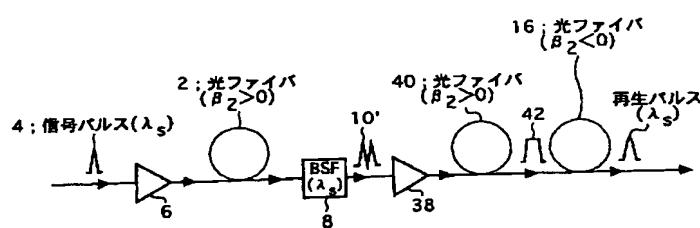
【図9】



【図11】



【図12】



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-222037  
 (43)Date of publication of application : 17.08.2001

(51)Int.CI. G02F 1/365

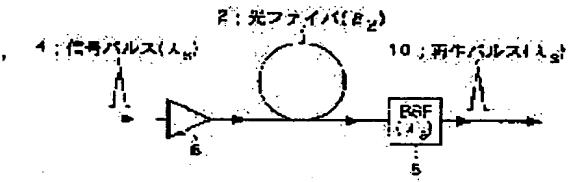
(21)Application number : 2000-034454 (71)Applicant : FUJITSU LTD  
 (22)Date of filing : 14.02.2000 (72)Inventor : WATANABE SHIGEKI

## (54) METHOD, DEVICE AND SYSTEM FOR REPRODUCING OPTICAL SIGNAL

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a reproducing method of optical signal which does not depend on the bit rate and the pulse shape or the like of optical signal or a reproducing method of optical signal which is suitable for a WDM(wavelength dividing and multiplexing) as to method, device and system for reproducing optical signal.

**SOLUTION:** In this method for reproducing optial signal, when an optical signal is inputted to an optical waveguide structure (for example, an optical fiber) providing a nonlinear effect, a chirping is generated in the optial signal by the nonlinear effect. Then, components in which the chirping is small are eliminated by supplying the output optical signal outputted from the optical waveguide structure to an optical filter. When components in which the chirping is small are eliminated in the pulse shaped optical signal, since especially intensity fluctuation and accumulative noise of the top parts and/or low-power parts of the pulses can be eliminated, the optical signal can be reproduced without depending on the bit rate and the pulse shape or the like of the optical signal.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

[decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**CLAIMS**

[Claim(s)]

[Claim 1] the method equipped with the step which inputs a lightwave signal into the optical waveguide structure of offering a nonlinear effect, the step which makes the above-mentioned lightwave signal produce a tea-ping according to the above-mentioned nonlinear effect, and the step which supplies the output lightwave signal by which the optical waveguide structure shell output was carried out [above-mentioned] to a light filter, and removes the small component of the above-mentioned tea-ping

[Claim 2] It is the method of being the optical fiber which it is a method according to claim 1, and the above-mentioned optical waveguide structure provides with a normal dispersion.

[Claim 3] It is the method of being the optical band stop filter which is a method according to claim 1 and has the main wavelength which corresponds with the main wavelength of the above-mentioned lightwave signal substantially.

[Claim 4] The method which is a method according to claim 3 and was further equipped with the step which supplies the above-mentioned output lightwave signal to an optical band pass filter, and removes a bigger tea-ping component than the tea-ping in the main slope section of the pulse of the above-mentioned lightwave signal.

[Claim 5] The method which is a method according to claim 1 and was further equipped with the step which supplies the lightwave signal which should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure to a light filter, and removes the noise component outside the signal band in the above-mentioned lightwave signal.

[Claim 6] The method which is a method according to claim 1 and was further equipped with the step which carries out optical amplification of the lightwave signal which should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure so that a necessary tea-ping may be obtained.

[Claim 7] The method which is a method according to claim 1 and was further equipped with the step which supplies the above-mentioned output lightwave signal to a distributed compensator so that distributed compensation of the above-mentioned output lightwave signal may be carried out.

[Claim 8] It is the method further equipped with the step which it is a method according to claim 7, and the above-mentioned optical waveguide structure is the 1st optical fiber which offers a normal dispersion, and adjusts the distributed value and input control power of the 2nd optical fiber of the above so that the above-mentioned distributed compensator may be the 2nd optical fiber which offers anomalous scattering and pulse compression may be performed to the grade to which lack near the pulse peak of the lightwave signal outputted from the 2nd optical fiber of the above decreases.

[Claim 9] The method which is a method according to claim 8 and was further equipped with the step which supplies the lightwave signal by which the output was carried out [above-mentioned] so that the pulse width of the lightwave signal outputted from the 2nd optical fiber of the above might be in agreement with the pulse width of the lightwave signal inputted into the 1st optical fiber of the above in general to an optical band pass filter.

[Claim 10] The method which is a method according to claim 1 and was further equipped with the

step which carries out pulse compression of the lightwave signal which should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure.

[Claim 11] It is a method containing the step which it is [ step ] a method according to claim 10, and makes the 2nd optical fiber which offers the 1st optical fiber and anomalous scattering which the above-mentioned step which carries out pulse compression provides with a normal dispersion pass the above-mentioned lightwave signal.

[Claim 12] The lightwave signal which is a method according to claim 1 and should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure is the method of being the WDM signal light obtained by carrying out the wavelength division multiplex of two or more lightwave signals.

[Claim 13] It is the method of having the big distributed value to the grade in which it is a method according to claim 12, the above-mentioned optical waveguide structure is an optical fiber which offers a normal dispersion, and the cross talk of the above-mentioned WDM signal light does not generate the above-mentioned optical fiber.

[Claim 14] Equipment equipped with the optical waveguide structure of offering a nonlinear optical effect so that a tea-ping may arise in the inputted lightwave signal, and the light filter which the output lightwave signal outputted from the above-mentioned optical waveguide structure is supplied, and removes the small component of the above-mentioned tea-ping.

[Claim 15] It is equipment which is the optical fiber which it is equipment according to claim 14, and the above-mentioned optical waveguide structure provides with a normal dispersion.

[Claim 16] It is equipment which is the optical band stop filter which is equipment according to claim 14 and has the main wavelength which corresponds with the main wavelength of the above-mentioned lightwave signal substantially.

[Claim 17] Equipment further equipped with the optical band pass filter which is equipment according to claim 16, and the above-mentioned output lightwave signal is supplied and removes a bigger tea-ping component than the tea-ping in the main slope section of the pulse of the above-mentioned lightwave signal.

[Claim 18] Equipment further equipped with the light filter which the lightwave signal which is equipment according to claim 14 and should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure is supplied, and removes the noise component outside the signal band in the above-mentioned lightwave signal.

[Claim 19] Equipment which is equipment according to claim 14 and was further equipped with the light amplifier which carries out optical amplification of the lightwave signal which should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure so that a necessary tea-ping may be obtained.

[Claim 20] Equipment further equipped with the distributed compensator with which it is equipment according to claim 15, and the above-mentioned output lightwave signal is supplied.

[Claim 21] It is equipment further equipped with the optical band pass filter to which the lightwave signal by which it is equipment according to claim 20, and the above-mentioned optical waveguide structure is the 1st optical fiber which offers a normal dispersion, and the output was carried out [ above-mentioned ] so that the above-mentioned distributed compensator might be the 2nd optical fiber which offers anomalous scattering and the pulse width of the lightwave signal outputted from the 2nd optical fiber of the above might be in agreement with the pulse width of the lightwave signal inputted into the 1st optical fiber of the above in general is supplied.

[Claim 22] Equipment which is equipment according to claim 14 and was further equipped with the means which carries out pulse compression of the lightwave signal which should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure.

[Claim 23] It is equipment containing the 2nd optical fiber which is equipment according to claim 22 and offers the 1st optical fiber and anomalous scattering which the above-mentioned means which carries out pulse compression provides with a normal dispersion.

[Claim 24] The lightwave signal which is equipment according to claim 14 and should be inputted into the above-mentioned optical waveguide structure is equipment which is the WDM signal light obtained by carrying out the wavelength division multiplex of two or more lightwave signals.

[Claim 25] It is equipment which has the big distributed value to the grade in which it is

equipment according to claim 24, the above-mentioned optical waveguide structure is an optical fiber which offers a normal dispersion, and the cross talk of the above-mentioned WDM signal light does not generate the above-mentioned optical fiber.

[Claim 26] The system equipped with the optical-fiber-transmission way which is characterized by providing the following and which transmits a lightwave signal, and the lightwave signal regenerative apparatus with which the lightwave signal outputted from the above-mentioned optical-fiber-transmission way is supplied. The above-mentioned lightwave signal regenerative apparatus is the optical waveguide structure of offering a nonlinear optical effect so that a tearing may arise in the lightwave signal by which supply was carried out [ above-mentioned ]. The light filter which the output lightwave signal outputted from the above-mentioned optical waveguide structure is supplied, and removes the small component of the above-mentioned tearing.

[Claim 27] The system which is a system according to claim 26 and was further equipped with the 2nd optical-fiber-transmission way which transmits the above-mentioned output lightwave signal.

[Claim 28] The system further equipped with the optical transmitter which is a system according to claim 27 and was connected to the input edge of the above-mentioned optical-fiber-transmission way, and the optical receiver connected to the outgoing end of the optical-fiber-transmission way of the above 2nd.

[Claim 29] The lightwave signal which is a system according to claim 26 and is transmitted by the above-mentioned optical-fiber-transmission way is a system which is the WDM signal light obtained by carrying out the wavelength division multiplex of two or more lightwave signals.

[Claim 30] It is the system which is the optical-amplification relay transmission line in which it is a system according to claim 27, and each of the above-mentioned optical-fiber-transmission and the optical-fiber-transmission way of the above 2nd contains at least one light amplifier.

[Claim 31] It is the method further equipped with the step which is a method according to claim 1, the above-mentioned optical waveguide structure is the 1st optical fiber which offers a normal dispersion, amplifies the lightwave signal outputted from the above-mentioned light filter, and supplies the amplified lightwave signal to the 2nd optical fiber which offers a normal dispersion.

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

## [0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the method, the equipment, and the system for reproduction of a lightwave signal.

[0002] In the optical fiber communication system put in practical use in recent years, the fall of the signal power by transmission-line loss, branching loss, etc. is compensated using light amplifiers, such as erbium dope fiber amplifier (EDFA). A light amplifier is an analog amplifier and amplifies a signal linearly. In this kind of light amplifier, since a signal-to-noise ratio (S/N ratio) falls by addition of the spontaneous-emission light (ASE) noise generated with amplification, a limitation produces the number \*\*\*\*\* of relays in a transmission distance. Moreover, it is the factor which wave degradation by the nonlinear optical effect in the wavelength dispersion which an optical fiber has, or a fiber also gives a transmission limitation. In order to overthrow such a limitation, the regenerative repeater which processes a signal in digital one is required, and the realization is desired. Especially all the photo-regenerating repeaters that perform all processings in optical level are important when realizing transparent operation which does not depend the shape of a bit rate or a pulse form etc. of a signal.

[0003] A function required for all photo-regenerating repeaters is with amplitude reproduction or RIAMPURIFIKESHO (Reamplification), timing reproduction or retiming (Retiming), and waveform shaping or a RISHIEI ping (Reshaping). this invention offers all the photo-regenerating repeaters in an optical transmission system, the signal reproducer in the various node points of an optical network, etc. using the tea-ping by the self-phase modulation (SPM) effect received in case an optical pulse spreads the inside of optical waveguide structures, such as an optical fiber, especially among these paying attention to the function of RIAMPURIFIKESHO and a RISHIEI ping.

## [0004]

[Description of the Prior Art] After the most general thing as a waveform shaper or a photo-regenerating machine once changes an input lightwave signal into an electrical signal by electric eyes, such as a photodiode, and carries out waveform-shaping processing of this electrical signal electrically using a logical circuit, it is the waveform shaper of OE type which modulated the laser beam by this signal. The OE type waveform shaper is used for the regenerative repeater in the conventional optical transmission system. However, since the working speed of an OE type waveform shaper is restricted by the electronic circuitry for signal processing, it has the problem that the bit rate of the input signal of a regenerative repeater will be fixed at a low rate.

[0005] On the other hand, as a waveform shaper of all the optical types altogether processed on optical level, much nonlinear switches of the interference system composition of the nonlinear loop mirror (NOLM) accompanied by wavelength conversion, the Michelson type, or a Mach TSUENDA type, switches according to a supersaturation absorber further, etc. are proposed (for example, refer to Japanese Patent Application No. No. 133576 [ 11 to ], Japanese Patent Application No. No. 239854 [ 11 to ], and Japanese Patent Application No. No. 293189 [ 11 to ]).

[0006] However, when based on the Prior art mentioned above, there is a problem that only the signal of one channel can be processed at once. That is, when the lightwave signal which should

be reproduced is the WDM signal light obtained by carrying out wavelength multiplex [ of two or more lightwave signals from which wavelength differs ], it is necessary to use two or more equipments for carrying out multiple-times operation of the method for reproducing a lightwave signal, or reproducing a lightwave signal, and operation of a method is complicated or an equipment configuration becomes large-scale.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Therefore, the purpose of this invention is offering the method, the equipment, and the system for reproduction of the new lightwave signal which does not depend the shape of a bit rate or a pulse form etc. of a lightwave signal.

[0008] Other purposes of this invention are offering the method, the equipment, and the system for reproduction of the lightwave signal suitable for WDM (wavelength division multiplex).

[0009] The purpose of further others of this invention becomes clear from the following explanation.

[0010]

[Means for Solving the Problem] According to the 1st side of this invention, the method for reproducing a lightwave signal is offered. By this method, if a lightwave signal is supplied to the optical waveguide structure of offering a nonlinear effect, a tea-ping will arise in a lightwave signal according to a nonlinear effect. And the small component of a tea-ping is removed by supplying the output lightwave signal outputted from optical waveguide structure to a light filter.

[0011] If the small component of a tea-ping is removed in a pulse-like lightwave signal, since on-the-strength fluctuation and accumulation noise of the top portion of a pulse and/or a low power portion are especially removable, a lightwave signal can be reproduced without depending the shape of a bit rate or a pulse form etc. of a lightwave signal.

[0012] Moreover, since the light filter which has two or more bands like an interleave filter or AOTF (acoustooptics tunable filter) as a light filter for removing the small component of a tea-ping can be used, two or more lightwave signals can be collectively reproduced about the WDM signal light obtained by carrying out the wavelength division multiplex of two or more lightwave signals from which wavelength differs.

[0013] According to the 2nd side of this invention, the equipment for reproducing a lightwave signal is offered. This equipment is equipped with the optical waveguide structure of offering a nonlinear effect so that a tea-ping may arise in the inputted lightwave signal, and the light filter to which the output lightwave signal outputted from optical waveguide structure is supplied. A light filter removes the small component of the tea-ping in an output lightwave signal.

[0014] The optical fiber which offers a normal dispersion can be used as optical waveguide structure, and, thereby, a tea-ping can be made to produce and put in a lightwave signal effectively in this invention.

[0015] In this invention, in order to make a lightwave signal produce a tea-ping effectively, you may amplify the lightwave signal which should be inputted into optical waveguide structure by light amplifiers, such as EDFA (erbium dope fiber amplifier).

[0016] According to the 3rd side of this invention, the system for reproducing a lightwave signal is offered. This system is equipped with the optical-fiber-transmission way which transmits a lightwave signal, and the lightwave signal regenerative apparatus with which the lightwave signal outputted from the optical-fiber-transmission way is supplied. A lightwave signal regenerative apparatus may be offered according to the 2nd side of this invention.

[0017]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, with reference to an accompanying drawing, the form of desirable operation of this invention is explained in detail.

[0018] The case where optical pulse  $U(z, T)$  of width of face  $T_0$  and the peak power  $P_0$  spreads the inside of an optical fiber now is considered. It is the time in the system of coordinates by which  $T$  moves here with an optical pulse. distributed length  $LD=T_0^2/|\beta_2|$  receives an optical pulse not much greatly [ the wavelength dispersion beta 2 of this optical fiber ] — nonlinear — when sufficiently long ( $LD \gg LNL$ ) compared with long  $LNL=1/\gamma P_0$  ( $\gamma$  is a 3rd order nonlinear constant), phase shift  $\phi_{NL}(z, L)$  by SPM (self-phase modulation) can be expressed as follows

[0019]

[Equation 1]

$$\phi_{NL}(z, T) = |U(0, T)|^2 \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \quad (1)$$

[0020]  $z_{eff} = [1 - \exp(-\alpha z)] / \alpha$  is effective (nonlinear) interaction length here.

[0021] At this time, Chirp deltaomega<sub>NL</sub> is given below.

[0022]

[Equation 2]

$$\delta\omega_{NL} = -\frac{\partial \phi_{NL}}{\partial T} = -\frac{\partial |U(0, T)|^2}{\partial T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \quad (2)$$

[0023] | Since  $|U(0, T)|^2$  is equivalent to peak power, according to the (2) formulas, in the chipping in each portion of an optical pulse, a tighter portion becomes large in a power inclination. moreover, the travelling distance  $z$  -- long -- becoming -- the nonlinear length  $L_{NL}$  -- short -- becoming ( $\gamma P_0$  becoming large) -- it becomes large In this way, the chipping by SPM gives a new frequency component to an optical pulse, and expands a spectrum as a result.

[0024] As an example, it is the m-th super Gaussian (Super-Gaussian) type optical pulse [0025].

[Equation 3]

$$U(0, T) = \exp\left(-\frac{T^{2m}}{2T_0^{2m}}\right) \quad (3)$$

[0026] Considering the case where it inputs into \*\*\*\*\*\*, it is [0027] from (2) formulas.

[Equation 4]

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2m}{T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m-1} \exp\left[-\left(\frac{T}{T_0}\right)^{2m}\right] \quad (4)$$

[0028] It comes out. Especially about the usual Gaussian (Gaussian) pulse ( $m=1$ ), it is [0029].

[Equation 5]

$$\delta\omega_{NL} = \frac{2}{T} \frac{z_{eff}}{L_{NL}} \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{T^2}{T_0^2}\right) \quad (5)$$

[0030] It comes out. (3) The situation of -(5) formula is shown in (A) of drawing 1 , and (B). In (A) of drawing 1 , and (B), the solid line shows the case of a Gaussian pulse ( $m=1$ ), and the dashed line shows the case of the super Gaussian pulse at the time of  $m=3$ . A chirp occurs along the slope of a pulse and it is set to  $\delta\omega > 0$  in  $\delta\omega < 0$  and a rear portion in a head portion (rise chirp). Moreover, in the Gaussian pulse, it is an almost alignment chirp near the peak of a pulse.

[0031] (A) of drawing 1 and (B) show that the time component of a pulse can be decomposed on a spectrum by giving the chirp by SPM to an optical pulse. Especially an important thing is the point that near [ big ] the slope center of a chirp, near [ small ] the peak of a chirp, and a skirt portion are distinguishable. The minute power change and the accumulated noise a peak and near the skirt are removable using a light filter, using this.

[0032] That is, after making the inside of an optical fiber spread an optical pulse first, generating SPM compulsorily and separating into the big portion of a chirp, and a small portion in frequency, the spectrum component of a small ( $\delta\omega=0$ ) near [ a chirp ] is intensively removed using an optical band stop filter (BSP). Then, the chirp of a reverse sign can be given, chirp compensation can be carried out, and the wave of the pulse from which noise was removed can be returned.

[0033] There is a method using the wavelength dispersion (GVD) of an optical fiber as a method for giving a reverse chirp etc. By this method, if the optical pulse which spreads the inside of the fiber whose GVD is beta 2 is among  $\beta_2 > 0$ , i.e., a normal-dispersion fiber, it can obtain a rise chirp like the case of SPM, and if it is among  $\beta_2 < 0$ , i.e., an anomalous-dispersion fiber, it can obtain a down chirp. Thus, the chirp by SPM can be compensated by making the inside of an

anomalous-dispersion fiber spread.

[0034] In order to generate the chirp by SPM effectively, it is necessary to enlarge the gamma value of a fiber. Generally, gamma of an optical fiber is [0035].

[Equation 6]

$$\gamma = \frac{\omega n_2}{c A_{\text{eff}}} \quad (6)$$

[0036] It is come out and expressed. omega expresses optic-angle frequency, c expresses the velocity of light in a vacuum here, and  $n_2$  and  $A_{\text{eff}}$  express the nonlinear refractive index and the effective core cross section of a fiber, respectively. Since it is small, in order to obtain sufficient chirp with about  $\gamma=2.6W^{-1}\text{km}^{-1}$ , a length of several km ~ 10km or more was required for the nonlinear coefficient of the conventional DSF (distributed shift fiber). In order to generate a sufficiently big chirp in short length, it is effective to enlarge  $n_2$  in (12) formulas, or to make small the diameter (MFD) of the mode field, therefore  $A_{\text{eff}}$ , and to make optical intensity high. There is the method of adding a fluorine etc. to clad and adding GeO<sub>2</sub> grade to a core as a means which enlarges  $n_2$ , at remarkable high concentration. The big  $n$  binary more than  $5 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$  is obtained by the case where the addition concentration of GeO<sub>2</sub> is 25~30~mol% (the usual silica-fiber  $n$  two to  $3.2 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$ ). making MFD small on the other hand -- the ratio of a core and clad -- it is possible by the design of a refractive-index difference or a core configuration the above-mentioned GeO<sub>2</sub> addition fiber -- setting -- a ratio -- when the refractive-index difference delta is about 2.5 ~ 3%, the about [ MFD-4micrometer ] thing is obtained. The fiber of the big gamma value beyond  $15W^{-1}\text{km}^{-1}$  is obtained as a comprehensive effect of these effects.

[0037] Moreover, in order to lengthen enough or to act chirp compensation as distributed length compared with nonlinear length, to be able to adjust GVD of such a fiber arbitrarily is desired. It is possible by setting up the above-mentioned parameter as follows also about this point. First, in the usual DCF, if delta is enlarged on the conditions which generally fixed MFD, a distributed value will become large in a normal-dispersion field. On the other hand, if a core diameter is enlarged, distribution will decrease, and distribution will become large if a core diameter is conversely made small. Therefore, where MFD is set as a certain value in the given wavelength range, if the core diameter is enlarged, it will become possible to make distribution into zero. Conversely, it is also possible to obtain a desired normal-dispersion fiber.

[0038] By such method, the high nonlinear distribution shift fiber (HNL-DSF) and DCF (distributed compensation fiber) beyond  $\gamma=15W^{-1}\text{km}^{-1}$  are realized. For example, the fiber of  $\gamma=15W^{-1}\text{km}^{-1}$  can attain the same efficiency by 2.6 / about 15 to 1/5.7 length compared with the usual DSF. Although a length of about 10km is required of the usual DSF as mentioned above, such a fiber can attain the same effect by length of about 1~2km. Since the part loss which becomes short in fact decreases, it is good by still shorter length.

[0039] Drawing 2 is the block diagram showing the 1st operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. The optical fiber 2 is used as optical waveguide structure of offering a nonlinear optical effect. GVD of an optical fiber 2 is beta 2, and an optical fiber 2 gives a normal dispersion and the 3rd nonlinear optical effect to the lightwave signal supplied, for example.

[0040] After the signal pulse 4 as a lightwave signal which has main wavelength lambdaS is amplified to the power of sufficient grade to generate the char ping of business by the light amplifier 6, it is inputted into an optical fiber 2. A char ping occurs by SPM in an optical fiber 2. After the main wavelength of a rejection-band region passes the band stop filter (BSF) 8 of lambdaS and the small component of a char ping is removed, as for the output lightwave signal which the char ping was given and was outputted from the optical fiber 2, the reproduction pulse 10 of lambdaS is outputted for center frequency.

[0041] A changed part (for example, wave degradation by GVD) from the zero of an off-power (0 agreement) component and the small component of the slope near the peak of a pulse are mainly contained in the small component of a char ping. Since these components determine a lightwave signal pair noise ratio (OSNR), the fall of OSNR by power change of these components,

extinction-ratio degradation, noise accumulation, etc. is improvable by removing this portion by BSF.

[0042] The big feature of reproduction of the lightwave signal by this invention is not accompanied by wavelength conversion. Thereby, practical 2R (RIAMPURIFIKESHO and RISHIEI ping) reproduction which is not in the former is realizable.

[0043] Here, the grade of a chirp is estimated in order to evaluate the operability of this invention. For example, the case where the pulse of  $T_0=10\text{ps}$  spreads  $\beta=10\text{ps}^2/\text{km}$  and the normal-dispersion fiber of  $\gamma=20\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$  is considered. Since it is  $L=10\text{km}$  and  $LNL=0.5\text{km}$  supposing it inputs by about  $P_0=100\text{mW}$ ,  $L>>LNL$  is realized. Therefore, the influence of the distribution to a chirp ignores here.

[0044] At this time, chirp deltaomega is 162GHz (0.21nm) at the time of  $L=1\text{km}$ . It is set to  $P_0=200\text{mW}$ , then 324GHz (0.43nm) on the same conditions. On the other hand, if the pulse of  $T_0=5\text{ps}$  is used, it is set to 333GHz (0.43nm) to  $L=0.5\text{km}$   $P_0=200\text{mW}$ . Since about 200mW peak power can be realized comparatively easily and BSF of about 0.2nm of bands can also be realized to the short pulse of 5–10ps even if it is the signal of about 40 Gb/s, for example, this invention can be carried out even if it takes the above-mentioned estimate into consideration.

[0045] Drawing 3 is the block diagram showing the 2nd operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. It is made for the output lightwave signal outputted from the optical fiber 2 to have not only the band stop filter 8 but the band pass filter (BPF) 12 passed with this operation gestalt. The main wavelength of the passband of a band pass filter 12 is set as  $\lambda_S$ . In the illustrated example, although the band stop filter 8 and the band pass filter 12 are formed in this order toward the propagation direction of a lightwave signal, these may be prepared by the reverse order.

[0046] Next, the role of the band stop filter 8 shown in drawing 3 and a band pass filter 12 is explained using drawing 4.

[0047] Drawing 4 shows the on-the-strength fluctuation within the signal pulse before reproduction by this invention, and the horizontal axis is time (T). Considering the char ping by SPM of each portion of this pulse, the portion of a and a' originates in the spontaneous-emission light (ASE) noise of a light amplifier, or the waveform distortion by fiber transmission first. For the portion shown by a and a', originally it should be in zero level, therefore intensity is a low. Therefore, a char ping can also remove small the portion shown by a and a' by the optical band stop filter 8.

[0048] or [ next, / that an inclination is equivalent to the inclination of the pulse itself equivalent to the band of a signal, or since / the fluctuation near the peak of a pulse and on a slope is mainly based on the waveform distortion by the beat noise of a signal pulse and ASE of a light amplifier, and optical fiber transmission etc., and / it has a wide band a little as shown by b and b' ] -- or it is a grade tight a little In the mountain of change of the intensity in this case, and the portion of a valley, since an inclination serves as zero, the chirp of the neighborhood is small and is removed by the optical band stop filter 8.

[0049] However, probably, the extremely PIKI change component also exists, as shown by c and c'. In such the singular point, a chirp is larger than the thing in the slope of the pulse itself, and a spectrum is located outside it of a main slope. Therefore, change of the portion of such the singular point is removable by setting it as a suitable band where the component of the portion of the singular point does not include the band of the optical band pass filter 12 with the size containing the spectrum component of the main slope section.

[0050] Thus, with the operation gestalt of this invention, reproduction of a highly precise lightwave signal is attained compared with the case where only the optical band stop filter 8 is used, by supplying the output lightwave signal outputted from the optical fiber 2 to the optical band pass filter 12, and removing a bigger char ping component than the char ping in the main slope section of the pulse of a lightwave signal.

[0051] Drawing 5 is drawing for explaining the transparency band given by the optical band stop filter 8 and the optical band pass filter 12 which are shown in drawing 3. Here, two object transparency bands are given about wavelength  $\lambda_S$  to the signal spectrum of main wavelength  $\lambda_S$ . The rejection-band region between two transparency bands is given by the

optical band stop filter 8, and the rejection-band region of the outside of two transparency bands is given by the optical band pass filter 12. Therefore, the rejection-band region by the optical band stop filter 8 is narrower than the passband of the optical band pass filter 12. The noise component shown to drawing 4 by a, a', b, and b' by the rejection-band region between two transparency bands can be removed, and the noise component shown by the rejection-band region of the outside of two transparency bands by c and c' can be removed.

[0052] As an optical band stop filter 8, the fiber grating of a narrow-band can be used, for example. Moreover, reflection by the fiber grating can be used as an optical band pass filter 12, or high order filters, such as a double cavity type multilayer filter, can be used.

[0053] By the way, in drawing 5, although the spectrum is displayed in the form where the intensity near a center is the biggest, if the power of distribution or a pulse is set up suitably, it is possible to make the configuration of a spectrum into a flat. The case where it is set as a normal dispersion ( $\beta_2 > 0$ ) etc. becomes the white spectrum of a super-wide band which is so, and is called super Conti NYUMU (Supercontinuum) when extreme, (the chirp is carried out, a pulse spreading on a rectangle in this case), and (in this case, contribution of not only SPM but 4 light-wave mixture etc. is large). If this invention is applied to such a flat chirp spectrum, since the fixed output independent of input peak power will be obtained, fluctuation of near a peak can be oppressed effectively.

[0054] Drawing 6 is the block diagram showing the 3rd operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. This operation gestalt is characterized as contrasted with the operation gestalt shown in drawing 2 in that the light filter 14 is additionally formed between the light amplifier 6 and the optical fiber 2. The lightwave signal which should be inputted into an optical fiber 2 is supplied to a light filter 14, and it removes the noise component outside the signal band in the lightwave signal. For example, as a light filter 14, when the main wavelength of a passband uses the optical band pass filter of lambdaS, the ASE noise accumulated outside an input signal band is removable beforehand. The optical band stop filter which has the main wavelength of a different rejection-band region from lambdaS as a light filter 14 can also be used. For example, the optical band stop filter as a light filter 14 can be obtained by preparing two optical band stop filters which act, respectively for the rise chirp and the signal which carried out the down chirp, and tying these to a tandem. A fiber grating can be used as a light filter 14.

[0055] Thus, since high OSNR can be obtained by removing beforehand the noise component outside the signal band in a lightwave signal by the light filter 14, a lightwave signal can be reproduced more effectively.

[0056] Drawing 7 is with the block diagram showing the 4th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. This operation gestalt is characterized as contrasted with the operation gestalt shown in drawing 2 in that an optical fiber 2 and another optical fiber 16 which offers distribution of a reverse sign are connected to the output of the optical band stop filter 8. Since an optical fiber 2 offers a normal dispersion ( $\beta_2 > 0$ ), the output lightwave signal which the rise chirp occurred, was outputted from the optical fiber 2 by SPM in an optical fiber 2, and passed the optical band stop filter 8 by it may have the hole (strong partial fall) near the peak, as shown by sign 10'. Then, the rise chirp by SPM in an optical fiber 2 is compensated by supplying this output lightwave signal to the optical fiber 16 which offers anomalous dispersion ( $\beta_2 < 0$ ). since the pulse compression effect happens by setting up appropriately the distributed value and input control power in an optical fiber 16 in that case, while being able to amend the hole the spectrum top which boils optical band stop filter 8 and is depended, and near the peak of a pulse, or lack, wave degradation in transmission of the after that of the reproduction pulse shown with a sign 18 can also be reduced by reduction-ization of a chirp In addition, reduction-ization of this chirp can also be performed using other meanses, such as light filters, such as DCF and a fiber grating, and a phas modulator.

[0057] Thus, with this operation gestalt, since distributed compensation of the output lightwave signal of an optical fiber 2 is carried out using the optical fiber 16 as a distributed compensator, wave degradation can be reduced and reproduction of a highly precise lightwave signal is attained.

[0058] Drawing 8 is the block diagram showing the 5th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. This operation gestalt is characterized as contrasted with the operation gestalt shown in drawing 7 in that the pulse compression machine 20 is additionally formed in the input of a light amplifier 6. Moreover, similarly in the operation gestalt shown in drawing 3, the optical band pass filter 12 is connected to the output of the optical band stop filter 8, and the optical fiber 16 for distributed compensation and compensation of some chirping is connected to the output of the optical band pass filter 12.

[0059] The pulse compression machine 20 is obtained by connecting in series the optical fiber 22 which offers a normal dispersion ( $\beta_2 > 0$ ), and the optical fiber 24 which offers anomalous dispersion ( $\beta_2 < 0$ ). In this case, as shown by sign 4', pulse compression of the inputted signal pulse 4 is carried out by the combination of the rise chirp in an optical fiber 22, and the down chirp by the optical fiber 24. In order to obtain the chirping of business in optical fibers 22 and 24, light-amplifier 6' is prepared in the input of the pulse compression machine 20.

[0060] Since according to this composition pulse compression of the lightwave signal which should be inputted into an optical fiber 2 is carried out as shown by sign 4', effective removal of a noise component is attained and reproduction of a highly precise lightwave signal is attained.

[0061] Drawing 9 is the block diagram showing the 6th operation form of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. This operation form is characterized as contrasted with the operation form shown in drawing 8 in that the optical band pass filter 26 whose main wavelength of a comparatively narrow passband is  $\lambda_S$  is additionally connected to the output of an optical fiber 16. According to this composition, as a reproduction pulse is shown by sign 18' by passing the optical band pass filter 26, the compressed pulse width can be returned to the original width of face.

[0062] With the operation gestalt explained above, since photo-regenerating equipment is constituted from an optical fiber, a light filter, and a light amplifier, it faces performing optical 2R reproduction, and there is no polarization dependency, loss is small and, moreover, the remarkable effect that multi-wavelength package reproduction is possible is acquired. Multi-wavelength package reproduction explains a bird clapper more specifically possible.

[0063] Drawing 10 is the block diagram showing the operation gestalt of the system by this invention. The transmitter 28 which outputs the WDM signal light obtained by this system carrying out the wavelength division multiplex of two or more lightwave signals which have different wavelength ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ), The optical-fiber-transmission way 30 which transmits the WDM signal light outputted from the transmitter 28, The regenerative apparatus 32 with which the WDM signal light outputted from the optical-fiber-transmission way 30 is supplied, It has the optical-fiber-transmission way 34 which transmits the WDM signal light as an output lightwave signal outputted from the regenerative apparatus 32, and the receiver 36 which receives the WDM signal light outputted from the optical-fiber-transmission way 34. A receiver 36 restores to two or more original lightwave signals based on the received WDM signal light.

[0064] When the optical waveguide structure in a regenerative apparatus 32 is an optical fiber, as for the distribution, it is desirable that it is large to the grade which the cross talk of WDM signal light does not produce.

[0065] According to this invention, \*\*\*\*\* composition of the regenerative apparatus 32 can be carried out at the above various operation gestalten. When it fits the regenerative apparatus 32 according to this invention to WDM signal light, reservation of the (a) band and the design of the (b) light filter are important. Order is explained for this later on.

[0066] (a) In order to enable package reproduction of the secured WDM signal light of a band, it is desirable for the regenerative apparatus 32 to have a band corresponding to the band of WDM signal light. For example, about the operation gestalt of drawing 8, all of optical fibers 2, 16, 22, and 24, a light amplifier 6, and 6' are wanted to have a wide band rather than the band of WDM signal light. Hereafter, it explains concretely.

[0067] As for an optical fiber 2, it is desirable to have only the band which gives equally SPM of each channel (Ch.1, Ch.2, ..., Ch.N) of WDM signal light. Since the response time of the 3rd order nonlinear effect in a fiber is FEMUTO second order, it can be said to secure the wide band

enough. However, since a difference may come out in the shape of a pulse form when the values of distribution differ for every channel, it is desirable that they are the distributed flat fiber (DFF) which offers the normal dispersion of a suitable value as an optical fiber 2, or a fiber with a small distributed inclination.

[0068] It is desirable to have only the band which performs distributed compensation of each channel equally about an optical fiber 16. Since distributed compensation in this case is performed using anomalous scattering, it is desirable for a distributed inclination to be DFF of zero, and it is desirable to secure the flat field from the band of WDM signal light widely. However, when an optical fiber 2 is not DFF, as an optical fiber 16, an optical fiber 2 and the anomalous-dispersion fiber of a suitable value with the inclination of a reverse sign can be used.

[0069] The optical fiber 22 of the preceding paragraph of the pulse compression machine 20 needs to give the big rise chirp for pulse compression. Therefore, the property required of an optical fiber 22 is fundamentally the same as the property required of an optical fiber 2, and it is desirable for DFF or the distributed inclination of a normal dispersion of a too suitable value to be a small fiber.

[0070] The property required of the optical fiber 24 of the latter part of the pulse compression machine 20 is the same as the property required of an optical fiber 16 fundamentally.

[0071] About a light amplifier 6 and 6', it is desirable to have the flat band which amplifies each lightwave signal in the band of WDM signal light on the in general same gain.

[0072] (b) In order to filter collectively the WDM signal light which the light filter carried out the design package and gave the charting, it is desirable to adopt the special filter which has a property as shown in drawing 11. What is necessary is fundamentally, just to prepare the transparency band of a couple shown in drawing 5 according to the wavelength of each channel of WDM signal light. What is necessary is to connect with a tandem the fiber grating which has the center of a band, for example in each wavelength, and just to make WDM signal light penetrate about an optical band stop filter. Moreover, about an optical band pass filter, the method using the interleaver filter already put in practical use may be proposed. Furthermore, if an interleaver filter etc. is made to penetrate and the ASE noise outside a signal band is removed before inputting WDM signal light into a regenerative apparatus 32 if needed, reproduction of a highly precise lightwave signal will be attained about each channel. Installation positions, such as this interleaver filter, may be just before the optical fiber 2 in a regenerative apparatus 32.

[0073] What is necessary is just to perform optical direct detection etc., after dividing into the lightwave signal of each channel the WDM signal light received with the receiver 36 by the band-pass filter, in order to be able to apply an optical amplitude (intensity) modulation technique etc. and to carry out a signal detection in this case as a modulation technique of each channel of WDM signal light.

[0074] As each of the optical-fiber-transmission ways 30 and 34, the silica fiber (SMF) of a single mode can be used and there are a 1.3-micrometer zero distribution fiber and a 1.55-micrometer distribution shift fiber (DSF) as the example.

[0075] Each of the optical-fiber-transmission ways 30 and 34 may be an optical-amplification relay transmission line containing at least one light amplifier. In this case, since attenuation of a lightwave signal can be compensated by the light amplifier, long-distance transmission becomes possible.

[0076] In order to face carrying out this invention and to generate a charting effectively, it is desirable to compensate beforehand the waveform distortion by each GVD and nonlinear effect of the optical-fiber-transmission ways 30 and 34. Therefore, a distributed compensator or an optical phase-conjugation machine can be formed in the middle of [ each ] the optical-fiber-transmission ways 30 and 34. Moreover, this invention can also be applied when performing optical soliton transmission.

[0077] According to this invention, since oppression of ASE noise is possible, when the improvement of OSNR in the middle of a transmission line is attained when using the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention as a repeater, and using the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention as a receiver, an improvement of

receiving sensitivity is attained.

[0078] Finally, the chirp compensation method is explained. The chirp remains in the reproduction pulse by the method described so far. Since it comes out in the optical repeater in the middle of a transmission line and a certain shell and a subsequent transmission characteristic are not affected, as for being most expected as a use of a regenerative apparatus, it is desirable to compensate a chirp. What is necessary is just to use optical phase conjugation (OPC) for the 1st, in order to compensate a chirp. Since a chirp can be reversed by giving OPC to a reproduction pulse, chirp compensation is possible by reproducing a lightwave signal according to this invention in the still more nearly same procedure, and generating the same chirp.

[0079] In addition, although OPC is expected a type without a wavelength shift, when wavelength conversion may be followed on reproduction of a lightwave signal, OPC accompanied by a wavelength shift can also be used.

[0080] The 2nd method is a method which falls with the start portion of a pulse and the sign of a chirp compensates with a portion using a bird clapper on the contrary. With reference to drawing 12, this is explained more specifically.

[0081] Drawing 12 is the block diagram showing the 7th operation form of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention. This operation form is characterized as contrasted with the operation form shown in drawing 7 in that the optical fiber 40 which offers a normal dispersion is additionally formed between the optical band stop filter 8 and the optical fiber 16 which offers anomalous scattering as a distributed compensator. As the pulse shape of the output lightwave signal from the optical band stop filter 8 is shown by sign 10', the band of the chirp by the optical fiber 2 and the optical band stop filter 8 is adjusted so that it may separate into two approximately, and this output lightwave signal is supplied to an optical fiber 40 with sufficient power. At this time, the falling portion (near a center) of the pulse of the head portion of the pulse divided into two receives a right chirp, and the start portion of the pulse of a portion receives a negative chirp in the second half. On the other hand, the head portion of a pulse is a portion which received the negative chirp within the optical fiber 2, and a portion is a portion which received the right chirp in the second half. Therefore, while compensating the chirp for a core by the 2nd tea-ping by the optical fiber 40, the hollow of a pulse can also be compensated as shown by the sign 42. In this way, by supplying the acquired pulse to the optical fiber 16 as a distributed compensator similarly in the operation form shown in drawing 7, a lightwave signal is correctly reproducible.

[0082] Furthermore, only the component in which the falling portion carried out the right chirp (or negative chirp of a start portion) among the pulses which carried out the chirp by the optical fiber 2 can be filtered (the main wavelength of each portion is shifted from the main wavelength of an input signal pulse in that case), next the above-mentioned positive (negative) chirp can be compensated with the negative chirp (or right chirp of a standup portion) of a start portion according to this invention. In the 2nd tea-ping by the optical fiber 40, the light filter for signal extraction which has the main wavelength which is in agreement with the main wavelength of an input signal pulse can be used in that case.

[0083] Although the optical fiber was illustrated as optical waveguide structure of offering a nonlinear effect, with the operation form of this invention explained above, this invention is not limited to this. For example, since the semiconductor light amplifier (SOA) offered as the optical waveguide formed on the waveguide substrate or a semiconductor chip can also offer a nonlinear optical effect, this invention is applicable also to optical waveguide structures other than such an optical fiber.

[0084]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the effect that the method, the equipment, and the system distribution for reproduction of the new lightwave signal which does not depend the shape of a bit rate or a pulse form etc. of a lightwave signal become possible arises. Moreover, according to this invention, it is effective in the method, the equipment, and the system distribution for reproduction of the lightwave signal suitable for WDM (wavelength division multiplex) becoming possible. Since the effect acquired according to the specific operation gestalt of this invention is as having explained above, it omits the explanation.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] (A) of drawing 1 and (B) of drawing 1 are drawings for explaining the char ping at the time of a Gaussian pulse and a super Gaussian pulse spreading the inside of an optical fiber.

[Drawing 2] Drawing 2 is the block diagram showing the 1st operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 3] Drawing 3 is the block diagram showing the 2nd operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 4] Drawing 4 is drawing for explaining the on-the-strength fluctuation within the pulse removed according to this invention.

[Drawing 5] Drawing 5 is drawing showing the situation of removal of the noise by the light filter in the operation gestalt of this invention.

[Drawing 6] Drawing 6 is the block diagram showing the 3rd operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 7] Drawing 7 is the block diagram showing the 4th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 8] Drawing 8 is the block diagram showing the 5th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 9] Drawing 9 is the block diagram showing the 6th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Drawing 10] Drawing 10 is the block diagram showing the operation gestalt of the system by this invention.

[Drawing 11] Drawing 11 is drawing for explaining the transparency band of the light filter suitable for WDM signal light.

[Drawing 12] Drawing 12 is the block diagram showing the 7th operation gestalt of the regenerative apparatus of the lightwave signal by this invention.

[Description of Notations]

2, 16, 22, 24 Optical fiber

4 Signal Pulse

6 6' Light amplifier

8 Optical Band Stop Filter

12 26 Optical band pass filter

20 Pulse Compression Machine

28 Transmitter

30 34 Optical-fiber-transmission way

32 Regenerative Apparatus

36 Receiver

[Translation done.]